

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO INŽENÝRSTVÍ
KATEDRA MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

FRÉZOVÁNÍ OPTICKÝH PLOCH

MILLING OF THE OPTICAL SURFACES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

AUTOR PRÁCE:

JAKUB PROKOP, DiS.

VEDOUCÍ PRÁCE:

Ing. RADIM TROJAN, Ph.D.

Zadání bakalářské práce

Student:

Jakub Prokop

Studijní program:

B3923 Materiálové inženýrství

Studijní obor:

3911R034 Materiály a technologie pro automobilový průmysl

Téma:

Frézování optických ploch
Milling of the optical surfaces

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod do problematiky frézování
2. Vliv řezných podmínek na jakost optických ploch
3. Popis technologie mikrofrézování
4. Volba vhodných nástrojů a parametrů obrábění
5. Zhodnocení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

[1] VLACH, B., aj. Technologie obrábění a montáží. 1. vyd. Praha: SNTL- Nakladatelství technické literatury, 1990. 464 s. ISBN 80-03-00143-9.

[2] FRIEDRICH, Horst E a Barry L MORDIKE. Magnesium technology: metallurgy, design data, applications. Berlin: Springer, c2006, xxii, 677 s. ISBN 3-540-20599-3.

[3] UH, C. Steve a Meng-Kun LIU. Control of cutting vibration and machining instability: a time-frequency approach for precision, micro and nano machining [online]. Chichester: Wiley, 2013 [cit. 2017-11-28]. ISBN 978-1-118-40279-5.

[4] KUNSTFELD, Jaroslav. Porovnání životností fréz upnutých v termoupínačích oproti jiným způsobům upínání nástrojů: Comparison of the clamping of milling cutters in thermal fixtures with other tool clamping methods : autoreferát disertační práce. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3853-3.

[5] KOČMAN, Karel. Technologické procesy obrábění. Brno : AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2011. Sv. první. ISBN 978-80-7204-722-2.

[6] ALTINTAS, Yusuf. Manufacturing automation: metal cutting mechanics, machine tool vibrations and CNC design. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. ISBN 0-521-65973-6.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Radim Trojan, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018



doc. Ing. Petr Tomčík, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty

Zásady pro vypracování bakalářské práce

I.

Bakalářskou prací (dále jen BP) se ověřují vědomosti a dovednosti, které student získal během studia, a jeho schopnosti využívat je při řešení teoretických i praktických problémů.

II.

Uspořádání bakalářské práce:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1. Titulní list | 6. Obsah BP |
| 2. Originál zadání BP | 7. Textová část BP |
| 3. Zásady pro vypracování BP | 8. Seznam použité literatury |
| 4. Prohlášení + místopřísežné prohlášení | 9. Přílohy |
| 5. Abstrakt + klíčová slova česky a anglicky | |

ad 1) Titulní list je koncipován podle požadavků příslušné oborové katedry.

ad 2) Originál zadání BP obdrží student na oborové katedře.

ad 3) Tyto „Zásady pro vypracování bakalářské práce“ následují za originálem zadání BP. („Zásady pro vypracování bakalářské práce“ jsou ke stažení na webových stránkách fakulty).

ad 4) Prohlášení + místopřísežné prohlášení napsané na zvláštním listu (ke stažení na webových stránkách fakulty) a vlastnoručně podepsané studentem s uvedením data odevzdání BP. V případě, že BP vychází ze spolupráce s jinými právníckými a fyzickými osobami a obsahuje citlivé údaje, je na zvláštním listě vloženo prohlášení spolupracující právnícké nebo fyzické osoby o souhlasu se zveřejněním BP.

ad 5) Abstrakt a klíčová slova jsou uvedena na zvláštním listu česky a anglicky v rozsahu max. 1 strany pro obě jazykové verze.

ad 6) Obsah BP se uvádí na zvláštním listu. Zahrnuje názvy všech číslovaných kapitol, podkapitol a statí textové části BP, odkaz na seznam příloh a seznam použité literatury, s uvedením příslušné stránky. Předpokládá se desetinné číslování.

ad 7) Textová část BP obvykle zahrnuje:

- Úvod, obsahující charakteristiku řešeného problému a cíle jeho řešení v souladu se zadáním BP;
- Vlastní rozpracování BP (včetně obrázků, tabulek, výpočtů) s dílčími závěry, vhodně členěné do kapitol a podkapitol podle povahy problému;
- Závěr, obsahující celkové hodnocení výsledků BP z hlediska stanoveného zadání.

BP bude zpracována v rozsahu min. 25 stran (včetně obsahu a seznamu použité literatury).

Text musí být napsán vhodným textovým editorem počítače po jedné straně bílého nelesklého papíru formátu A4 při respektování následující **doporučené** úpravy - písmo Times New Roman 12b; řádkování 1,5; okraje – horní, dolní – 2,5 cm, levý – 3 cm, pravý 2 cm. Fotografie, schémata, obrázky, tabulky musí být očíslovány a musí na ně být v textu poukázáno. Budou zařazeny průběžně v textu, pouze je-li to nezbytně nutné, jako přílohy (viz ad 9).

Odborná terminologie práce musí odpovídat platným normám. Všechny výpočty musí být přehledně uspořádány tak, aby každý odborník byl schopen přezkoušet jejich správnost. Matematické vzorce musí být číslovány (v kulatých závorkách). U vzorců, údajů a hodnot převzatých z odborné literatury nebo z praxe musí být uveden jejich pramen - u literatury citován číselným odkazem (v hranatých závorkách) na seznam použité literatury. Nedostatky ve způsobu vyjadřování, nedostatky gramatické, neopravené chyby v textu mohou snížit klasifikaci práce.

ad 8) BP bude obsahovat alespoň 10 literárních odkazů, z toho nejméně 3 v některém ze světových jazyků.

Seznam použité literatury se píše na zvláštním listě. **Citaci literatury je nutno uvádět důsledně v souladu s ČSN ISO 690.** Na práce uvedené v seznamu použité literatury musí být uveden odkaz v textu BP.

ad 9) Přílohy budou obsahovat jen ty části (speciální výpočty, zdrojové texty programů aj.), které nelze vhodně včlenit do vlastní textové části, např. z důvodu ztráty srozumitelnosti.

III.

Bakalářskou práci student odevzdá ve dvou knihařsky svázaných vyhotoveních, pokud katedra garantující studijní obor neurčí jiný počet. Vnější desky budou označeny takto:

nahoře: *Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava*
Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství
Katedra

uprostřed: *BAKALÁŘSKÁ PRÁCE*

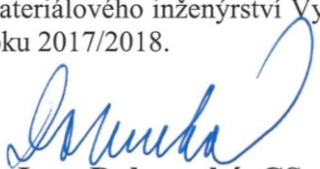
dole: *Rok* *Jméno a příjmení*

Kromě těchto dvou knihařsky svázaných výtisků odevzdá student kompletní práci také v elektronické formě do IS EDISON. Práce vložená v elektronické formě do IS EDISON se musí zcela shodovat s prací odevzdanou v tištěné formě. Po vložení BP do IS EDISON bude provedena její kontrola na plagiátorství.

IV.

Nesplnění výše uvedených zásad pro vypracování bakalářské práce může být důvodem nepřijetí práce k obhajobě. O nepřijetí práce k obhajobě rozhoduje v tomto případě garant příslušného studijního oboru. Tyto zásady jsou závazné pro studenty všech studijních programů a forem bakalářského studia fakulty metalurgie a materiálového inženýrství Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava od akademického roku 2017/2018.

Ostrava 13. 11. 2017


Prof. Ing. Jana Dobrovská, CSc.
děkanka fakulty metalurgie a materiálového inženýrství
VŠB-TU Ostrava

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- jsem byl(a) seznámen(a) s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního (§60 - školní dílo);
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude archivována v elektronické formě v databázi Ústřední knihovny VŠB - TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo - bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (Zákon o vysokých školách) bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Místopřísežně prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval(a) samostatně.

V Ostravě

.....
podpis (jméno a příjmení studenta)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je orientována na mikrofrézování optických plošek prototypového světlometu sportovního automobilu. V práci jsou zvoleny nástroje pro mikrofrézování za užití vysokootáčkového vřetene. Byly navrženy různé řezné podmínky a na základě fotometrických testů byly vybrány optimální řezné podmínky.

KLÍČOVÁ SLOVA

Mikrofrézování, optické plochy, fotometrické měření, světlomet, vysokootáčkové vřeteno.

ABSTRACT

This bachelor thesis focuses on the micro-milling of the optical surfaces of the prototype headlamp of a sports car. The tools for micro-milling using the high-speed spindle are selected. Different and optimum cutting conditions based on photometric tests were chosen.

KEY WORDS

Micromilling, optical surfaces, photometric measurement, headlamp, high-speed spindle.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, panu Ing. Radimu Trojanovi, Ph.D., za cenné připomínky, rady a znalosti při frézování.

Obsah

Úvod.....	11
1 Úvod do problematiky frézování.....	12
1.1 Základní pojmy.....	12
1.1.1 Obrobek.....	13
1.1.2 Obráběcí nástroj	13
1.1.3 Upnutí nástrojů.....	14
1.2 Frézování	15
1.2.1 Nesousledné frézování	18
1.2.2 Sousledné frézování	18
1.3 Mikroobrábění	18
1.4 CAD, CAM systémy.....	19
1.5 Uplatnění technologie mikrofrézování	19
2 Vliv řezných podmínek na jakost optických ploch	20
2.1 Drsnost povrchu.....	21
2.1.1 Měření drsnosti.....	21
3 Popis technologie Mikrofrézování	23
3.1 Size effect	23
3.2 Ploughing effect.....	24
3.3 SolidCAM.....	24
3.4 Vysokootáčkové vřeteno	26
3.4.1 Výpočet rychlosti nástroje.....	26
3.4.2 Vysoko otáčkové vřeteno Jäger S62-M280.07 S5	27
3.4.3 Instalace vysokootáčkového vřetene Jäger S62-M280.07 S5 do stroje	27
3.5 Měření drsnosti	29
3.5.1 Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ - 411	29
3.5.2 Měření a kompenzace profilu.....	29

3.6	Měření drsnosti vnější a vnitřní plochy světlometu.....	30
3.7	Měření drsnosti šikmých odrazových plošek	32
3.8	Měření drsnosti bříšek světlometu.....	33
4	Volba vhodných nástrojů a parametrů obrábění	34
4.1	Nástroje pro frézování bříška	35
4.1.1	Fotometrické měření	37
4.1.2	Parametry	39
4.2	Nástroje pro frézování šikmých odrazových ploch	40
4.2.1	Parametry	40
4.3	Nástroje pro frézování boků	41
4.3.1	Parametry	42
	Zhodnocení a Závěr.....	43
	Seznam ZKRATEK.....	44
	Seznam zdrojů a použité literatury.....	45
	Seznam obrázků	47

ÚVOD

Současným trendem je zkracování výrobního cyklu a celkové urychlení procesu při zachování ceny výrobku. Pokrokem obráběcích technologií dosahujeme vysoké přesnosti i přijatelné drsnosti materiálu finálního výrobku. V současné době nese mnoho produktů tvarově složité prvky, na které jsou kladeny vysoké výrobní přesnosti. Dané tvarově složité plochy jsou často využívány v leteckém průmyslu, automobilovém průmyslu, optice a v dalších odvětvích.

Prototypový světlomet sportovního automobilu je velice složitý prvek, který podléhá předpisům EHK pro provoz automobilu. Návrh a vývoj pro nás zpracovala firma Varroc Lighting Systems, s.r.o., která se zabývá vývojem světlometů. Na nás bylo navrhnut nástroje a řezné podmínky, abychom se co nejlépe přiblížili výpočetním a simulačním modelům světlometu. Proto byly navrženy různé nástroje a různé řezné podmínky, ze kterých na základě fotometrických testů na dvou vzorcích vyrobených světlometů byly vybrány ty, které se nejvíce přibližovaly návrhu.

Cílem bakalářské práce je změřit drsnost povrchu funkční i nefunkční plochy světlometu, porovnat kvalitu jakosti obrobené plochy odlišnými frézickými parametry obrábění.

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY FRÉZOVÁNÍ

Frézování patří mezi dynamické metody obrábění. V uplynulém desetiletí vývoj dospěl k víceosým frézám, které umožňují frézování prostorových dílů, dříve bylo možné frézovat jen rovné díly.

1.1 Základní pojmy

Obrábění je dynamickou technologií, která slouží k výrobě součástky požadovaných tvarů a rozměrů v daném stupni přesnosti. K dosažení potřebných vlastností je potřeba použít různé obráběcí způsoby. Obrábět můžeme:

- ručně
- strojově

K ručnímu obrábění se využívá zejména fyzické síly a manuální zručnosti pracovníka. Neustálým pokrokem techniky a růstem kvality technických strojů s vysokou produktivitou se od této metody ustupuje a je omezena jen na malosériovou nebo kusovou výrobu. V oblasti mikrofrézování se hojně používá k dokončovacím procesům. Dokonale lesklou plochu dokážeme vyrobit jen ručním leštěním, za předpokladu nepřesných tvarů. Kvalita obrobené plochy závisí na zručnosti pracovníka, brousící pastě a brusném nástroji.

Strojní obrábění charakterizuje stroj a obrobek. Stroj dodává energii potřebnou na změnu tvaru obrobku a obrobek dostává tvar na obráběcím stroji. Strojní obrábění poskytuje žádané vlastnosti obrobené plochy a vysokou reprodukovatelnost.

Hlavní způsoby strojního obrábění, tedy tvorby inženýrského strukturovaného povrchu jsou:

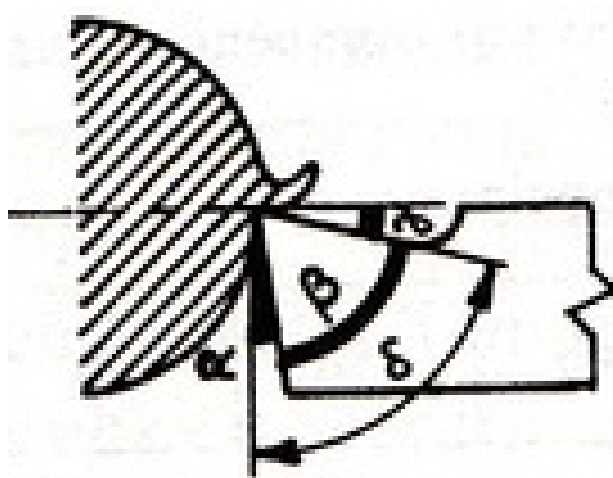
- frézování
- soustružení
- obrážení
- protahování
- další

1.1.1 Obrobek

Hlavním prvkem soustavy je obrobek, nazýváme tak obráběný předmět. Může se jednat o polotovar nebo díl, který budeme obrábět, tedy měnit jeho tvar, rozměry a drsnost povrchu. Obrobená plocha je výsledkem procesu obrábění.

1.1.2 Obráběcí nástroj

Řezný nástroj se analyzuje a projektuje podle několika aspektů. Při utváření třísky je nejdůležitějším hlediskem geometrie nástroje viz Obr. 1, která závisí na obráběném materiálu a na materiálu nástroje.



Obr. 1 Geometrie nástroje upraveno z [1]

Úhel α je úhel mezi hlavním hřbetem nože a tečnou k řezné ploše obrobku. Velikost úhlu ovlivňuje míru tření mezi oběma plochami. Menší úhel zvyšuje tření a tím také vnáší více tepla při frézování, zároveň dochází k vyššímu opotřebení nástroje. Pro tvrdší materiály aplikujeme úhel $\alpha = 4-10^\circ$, pro oceli $10-16^\circ$. [1]

Úhel β svírá hlavní hřbet s čelem nože. Velikost úhlu ovlivňuje ochotu materiálu k obrábění. Malému úhlu je kladen malý odpor, břit nástroje snadno vniká do materiálu, ale rychle se otupuje a snadno se může ulomit. Nejčastěji se velikost úhlu pohybuje v rozmezí $40-90^\circ$.

Úhel γ je úhel mezi čelem nože a rovinou procházející hlavním ostřím, která je kolmá k řezné ploše obrobku. Úhel ovlivňuje směr odváděné třísky, a také odpor materiálu k obrábění. Větší úhel se používá pro obrábění měkkých materiálů, dochází k menší tepelné zátěži. Pro obrábění tvrdých materiálů můžeme použít i úhel záporných hodnot. [1]

Úhel δ je úhel mezi čelem nástroje a tečnou k řezné ploše obrobku. Velikost vypočteme součtem úhlů $\alpha + \beta$. Tedy $\delta = \alpha + \beta$.

1.1.3 Upnutí nástrojů

Pro dosažení požadované jakosti povrchu je důležité správné upnutí nástroje. Pro hrubovací operaci je dostatečné upnutí kleštinovými upínači. Tento typ upnutí není zcela přesný, ale pro potřeby hrubování je dostatečný a běžně využívaný.

Pro přesnější a tužší upnutí se používá tepelné upnutí nástroje, viz Obr. 2. Přesně tolerovaný upínač se ve speciálním zařízení indukčně zahřeje, tím se roztáhne a přesně tolerovaná stopka nástroje (v maximální toleranci h6) se zasune do upínače. Po vychladnutí, ať přirozeně anebo nuceně, se vytvoří pevný a přesný spoj. Nucené chlazení se provádí proudem vzduchu nebo kapaliny, které přispívá k prodloužení životnosti tepelně namáhaného upínače. [2]



Obr. 2 Zařízení pro tepelné upínání

Mezi další velké výhody tepelného upínání patří menší velikosti upínačů. Toto se využívá na těžko dostupných místech, při naklopeném stole a podobně, kde by nebylo možno obrábět vůbec, nebo by se musel použít extrémně dlouhý nástroj, což by snížilo produktivitu a jakost obráběné plochy. Příklad tepelně upnutého nástroje je na Obr. 2 lze vidět zabarvení těla tepelného upínače vlivem vysokých teplot indukčního ohřevu, s detailem nástroje na Obr. 3. je detail nástroje.

Cyklus zahřívání a ochlazování limituje počet upnutí na jeden upínač. Počet upnutí v jednom tepelném upínači je v řádech stovek, což zcela kompenzuje náročnost procesu. [2]



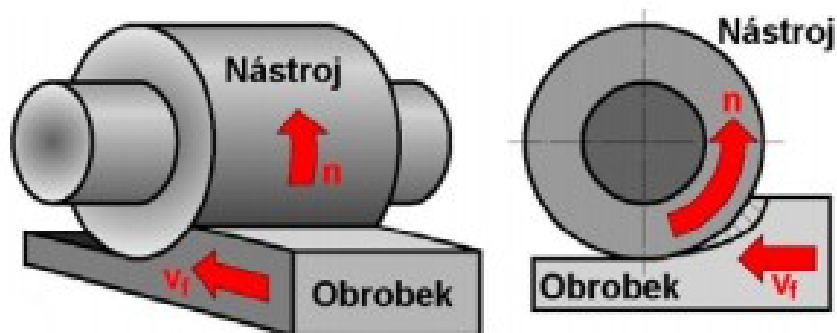
Obr. 3 Detail mikrofrézy

1.2 Frézování

Frézování je metoda obrábění, kdy materiál odebírají břity otáčejícího se nástroje – fréza. Materiál se odlamuje ve formě jednotlivých drobných třísek. Hlavní pohyb frézy je rotační a koná jej nástroj, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. Vedlejší pohyb je posuv, který je obvykle přímočarý. Moderní stroje umožňují plynulý pohyb ve všech směrech. [3]

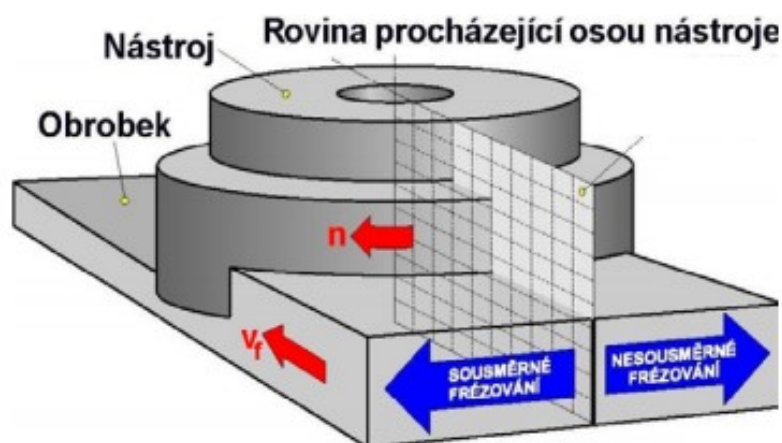
Na aplikovaném nástroji můžeme z technologického hlediska rozlišit frézování válcové (frézování obvodem) a frézování čelní (frézování čelem), dále existují odvozené způsoby frézování, okružní a planetární.

Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou tvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy.



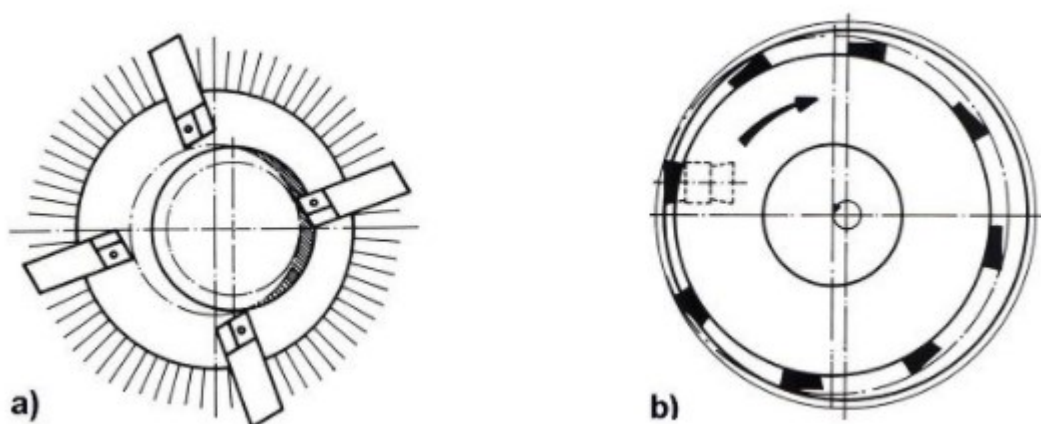
Obr. 4 Válcové frézování převzato z [4]

Čelní frézování je nejrozšířenější frézovací operace. Materiál je současně odřezáván břity po obvodu i čelem frézy. Čelní frézování je efektivnější než válcové, protože současně zabírá více zubů frézy. [5]



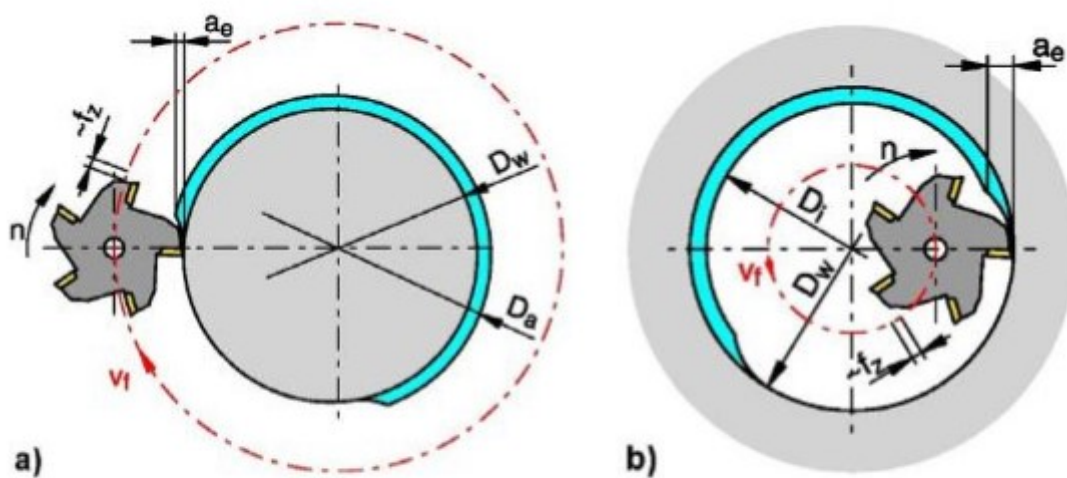
Obr. 5 Čelní frézování převzato z [6]

U okružního frézování je materiál odebrán obvodem rotačního nástroje, osy nástroje i obrobku jsou obvykle vzájemně skloněné. Používá se při obrábění válcových tyčí a výrobě závitů. Rozlišuje se na vnitřní a vnější frézování.



Obr. 6 Okružní frézování převzato z [4]

Planetové frézování se uplatňuje u CNC strojů a obráběcích center, které jsou vybaveny kruhovou dráhou nástroje. Umožňuje frézovat rotační plochy nebo jejich součásti.



Obr. 7 Planetové frézování převzato z [4]

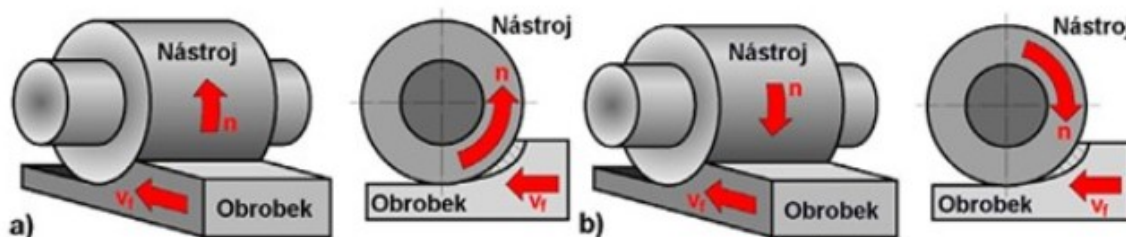
V závislosti na pohybu obráběcího procesu se rozlišuje frézování nesousledné a sousledné.

1.2.1 Nesousledné frézování

Při nesousledném frézování vřeteno rotuje v proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Nejprve je materiál pýchován, a poté dochází k oddělování třísky. Přitom vznikají silové účinky a deformace způsobující zvýšené opotřebení břitu. Řezná síla při protisměrném frézování má složku, která působí směrem nahoru a odtahuje obrobek od stolu. [7] [8]

1.2.2 Sousedné frézování

Při sousledné frézování se fréza otáčí stejným směrem posuvu. Břity se zařezávají do maximální tloušťky třísky. Takto obrobené plochy jsou hladší než u nesousledném frézování, také řezné síly působí příznivěji, neboť je obrobek přitlačován na opěrnou plochu. Sousedné frézování se uplatňuje na frézách tuhé konstrukce. Obvykle se používá při frézování měkkých a houževnatých materiálů. [7]



Obr. 8 Nesousledné (a) a sousledné (b) frézování převzato z [4]

1.3 Mikroobrábění

Technologie obrábění vynikající vysokou kvalitou povrchu obrobeného materiálu, při použití nástrojů od průměru 0,01 mm dosahuje vyšší přesnosti než 0,0001 mm. Vřetena se otáčejí vysokou rychlostí, blíží se hodnotám až 250 000 ot. min⁻¹. Proto je zapotřebí zajistit dostatečnou tuhost soupravy, aby se mohl dosáhnout požadovaných řezných parametrů.

Pro frézování s nejvyšší přesností se využívaly do nedávna tříosé stroje. Nejnovější stroje již pracují s pěti souvisle řízenými osami. Charakteristickou vlastností mikroobráběcích strojů je vysoká přesnost a tolerance na mikronové a nano úrovni. Zvyšující se poptávka po mikrokomponentech dostává tuto technologii dopředu.

1.4 CAD, CAM systémy

Zkratka CAD, z angličtiny computer-aided design, doslovně znamená počítačem podporovaný návrh. Jedná se o grafický software, ve kterém modelujeme jednotlivé díly k obrobení. Pro simulaci obrobení a postup obrábění používáme CAM software. Zkratka CAM pochází z anglického názvu computer-aided manufacturing, přeloženo jako počítačem podporované obrábění. Vědomosti, zručnost a zkušenosti obráběče na klasickém stroji se přesouvají na programátora a program, který je použit. I přesto musí vědět, jak stroj pracuje a jaké jsou jeho pracovní možnosti. Také obsluha stroje musí umět seřadit stroj, nastavit nulový bod obrobku s nulovým bodem programu. V oblasti mikrofrézování musí být program pečlivě vybrán a optimalizován, také by měl zaručit otevření dat z různých vstupních formátů jiných CAD systémů. Špatně zpracovaná vstupní data mohou ovlivnit přesnost frézování a výslednou kvalitu obrobku. [9]

Software by měl vypočítat inteligentní dráhy nástroje, optimalizovat řezné i posuvné rychlosti, ale také zvolit vhodný druh nástroje. Mezi velmi důležité parametry patří rychlost posuvu nástroje a eliminace zbytečných posuvů vzduchem. Při mikrofrézování je důležitý výběr vhodného programu, ne každý software dokáže efektivně spočítat dráhy nástroje i přesnost výpočtů 0,0005 mm. Nejlepší program pro frézování nezaručuje nejlepší efektivitu a přesnost výpočtů při aplikaci mikrofrézování. Mezi doporučený software patří aplikace CimatronE, návrh sportovního světlometu byl programován v SolidCAMu, který je vhodný pro aplikaci mikrofrézování. [9]

1.5 Uplatnění technologie mikrofrézování

Technologie obrábění mikrofrézováním, nahrazující několik metod nekonvenčního obrábění, nachází uplatnění především ve výrobě jednoduchých a miniaturních součástek. Proces zmenšování se kolem nás neustále rozvíjí a předpokládá se, že zájem o mikrofrézování poroste. Mikrofrézování splňuje mnoho požadavků na zmenšení komponent a můžeme se s ním setkat v lékařském odvětví při výrobě lidských kostních náhrad, v dentálním průmyslu při výrobě dentálních náhrad (scan – CAD – CAM – náhrada), v elektronice a při metodě rapid-prototyping. Mezi další průmyslová odvětví, kde můžeme mikrofrézování uplatnit je rytectví, úprava šperků, automobilový průmysl a letectví. [10]

2 VLIV ŘEZNÝCH PODMÍNEK NA JAKOST OPTICKÝCH PLOCH

Kvalita obrobeného povrchu závisí na celém procesu obrábění, zvoleném nástroji, stupni opotřebení nástroje, řeznými podmínkami, obráběným materiálem, geometrií břitu nástroje, řezným prostředím a tuhostí celého systému stroj – nástroj – obrobek – upínač. Malé nepravidelnosti jsou definovány jako drsnost značená písmenem R_a . Značí střední aritmetické odchylky od ideálního, přímkového profilu povrchu. [2]

Největší odběr materiálu dosáhneme hrubováním. Při obrábění na čisto požadujeme dodržení požadovaných parametrů.

Druh plochy	Výrobní metoda	Přesnost rozměrů (stupeň přesnosti) IT		Drsnost povrchu obrobené plochy R_a (μm)	
		střední hospodárná	dosahovaný rozsah	střední hospodárná	dosahovaný rozsah
1	2	3	4	5	6
Rovinné plochy	hoblování				
	hrubování 300 mm	12	12 až 13	50	25 až 100
	1 200 mm	13	12 až 14	50	25 až 100
	načisto 300 mm	10	9 až 11	6,3	3,2 až 12,5
	1 200 mm	11	9 až 12	6,3	3,2 až 12,5
	jemné (široký nůž)	9	7 až 10	1,6	0,8 až 1,6
	frézování				
	válcovou frézou,				
	hrubování do 300 mm	12	10 až 13	25	12,5 až 50
	hrubování do 1 200 mm	13	11 až 13	25	12,5 až 50
	válcovou frézou,				
	načisto do 300 mm	10	9 až 11	3,2	1,6 až 6,3
	načisto do 1 200 mm	11	9 až 12	3,2	1,6 až 6,3
	frézovací hlavou,				
	hrubování do 300 mm	11	10 až 13	25	12,5 až 50
	hrubování do 1 200 mm	12	11 až 13	25	12,5 až 50
	frézovací hlavou,				
	načisto do 300 mm	9	8 až 10	3,2	0,8 až 6,3
	načisto do 1 200 mm	10	8 až 11	3,2	0,8 až 6,3
	jemné frézování,				
	nástroj SK	6	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	broušení				
	nahrubo	10	9 až 11	1,6	1,6 až 3,2
	načisto	7	5 až 7	0,8	0,4 až 1,6
	jemné	5	3 až 6	0,2	0,025 až 0,4
	lapování				
	načisto	4	3 až 5	0,2	0,1 až 0,4
	jemné	3	1 až 3	0,025	0,012 5 až 0,05
	leštění			0,1	0,012 5 až 0,2
	zaškrabávání			0,4	0,2 až 0,8
	protahování				
	hrubování	8	7 až 9	1,6	0,8 až 3,2
	načisto	7	5 až 7	0,4	0,1 až 0,8

Obr. 9 Drsnost povrchu výrobních metod převzato z [11]

Z tabulky můžeme vyčíst hodnoty dosahované drsnosti jemného frézování, které porovnáme při měření drsnosti.

2.1 Drsnost povrchu

Pro optické plošky je jakost obrobené plochy zásadním faktorem. Elementární možnost pro měření jakosti obrobené plochy je měření drsnosti povrchu. Pokud je jisté, že obrobená plocha splňuje parametry požadované drsnosti, mohou se provádět další komplikovanější měření, například fotometrické měření, které je zásadní z pohledu splnění požadavků na celý světlomet.

Drsnost povrchu udává jakost obráběného povrchu, vzniká při výrobním procesu vzájemným působením mezi nástrojem a obrobkem.

2.1.1 Měření drsnosti

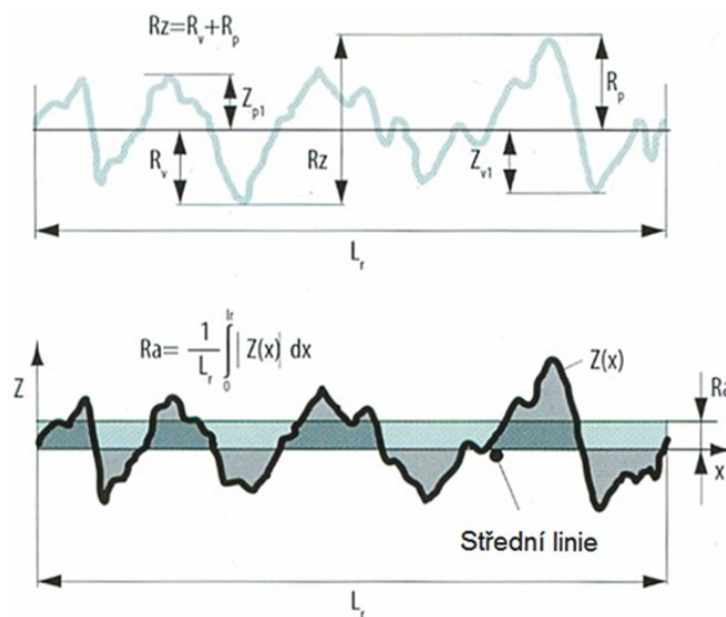
Základním měření pro posuzování kvality obrobené plochy je měření její drsnosti. Žádný povrch není ideálně rovný a hladký, vždy má nějaké nepřesnosti. Měření drsnosti je v podstatě měření tvaru povrchu (výšky vrcholku a prohlubní) od ideálního středního rozměru v mikroskopickém měřítku, viz Obr. 10. Při posuzování drsnosti povrchu můžeme měřit různé parametry, např. R_z – maximální výšku profilu, R_p – maximální výšku vrcholu – špičky, R_v – maximální hloubka prohlubně, výšky jednotlivých špiček – vrcholů Z_p a prohlubně Z_v . Tyto změřené hodnoty jsou mikrometrech. V praxi se však nejčastěji využívá hodnota R_a – střední aritmetická hodnota absolutních hodnot úchylek od střední čáry profilu v rozsahu základní délky.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx$$

nebo přibližně

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y(x_i)|$$

kde je, l – základní délka, n – počet vybraných bodů měřeného profilu, $y(x_i)$ – hodnota vybraného bodu.

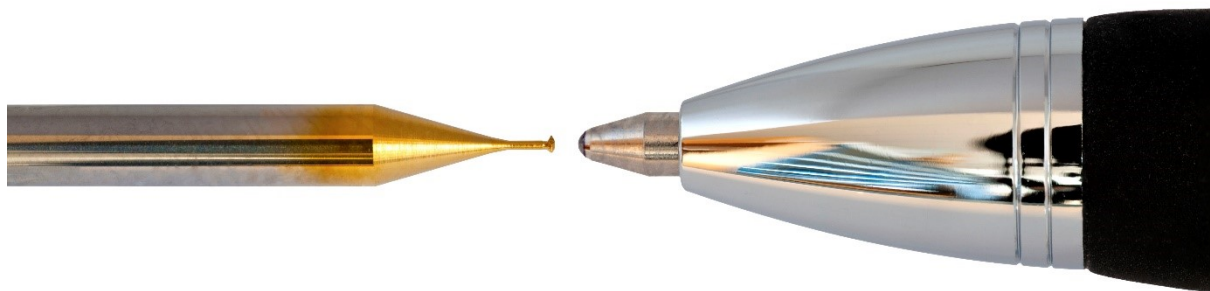


Obr. 10 Drsnost povrchu převzato z [2]

Kvalita povrchu závisí na zvolených řezných podmínkách. Lepšího povrchu dosáhneme vyšší rychlostí nástroje, menší hloubkou záběru třísky ap a menším bočním krokem ae . Pro perfektní rozptýlení světla potřebujeme povrch s nejnižší možnou drsností. Při frézování světloometu bychom taky měli uvažovat o co nejnižším záběru třísky a bočním kroku, který by se pohyboval v řádech setin nebo tisícín milimetru.

3 POPIS TECHNOLOGIE MIKROFRÉZOVÁNÍ

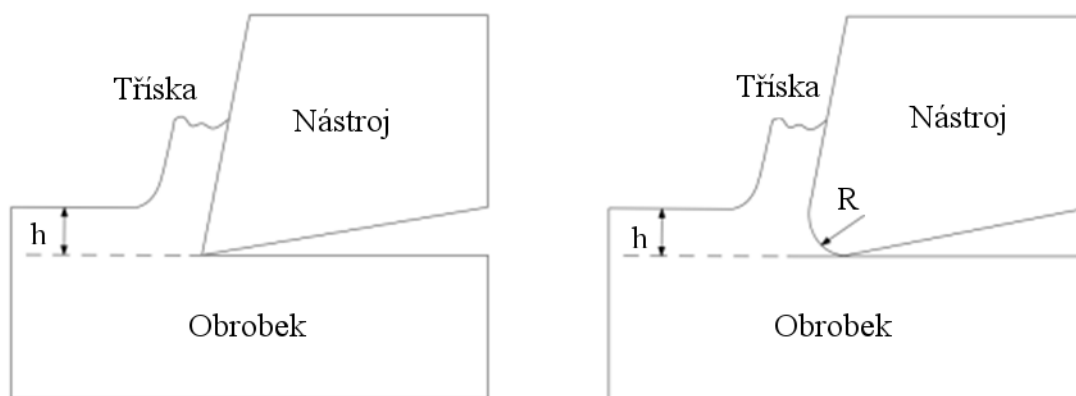
Mikrofrézování je proces vzniklý zmenšením konvenčního frézování. Obě technologie jsou si velmi podobné, materiál je odebírán ve formě třísek rotujícím nástrojem. Na nástroje je kladen důraz vysoké přesnosti (submikronové), za předpokladu perfektně obrobené plochy obrobku. Velká pozornost se věnuje přesnosti geometrii tvaru ostří a jeho řeznému úhlu. Pro eliminaci řezných sil se zmenšujícími se nástroji se volí kombinace tvrdé otěruvzdorné vrstvy a samokluzné vrstvy. Použití speciálního nanokompozitního povlaku prodlužuje životnost nástrojů. Většinou se používají nástroje s průměrem od 100 μm do 1 mm, které mají poloměr špičky od 1 μm do 10 μm . I když se jedná pouze o zmenšení frézovacího procesu, vznikají nové nežádoucí jevy jako například size effect nebo ploughing effect. [7]



Obr. 11 Porovnání velikosti nástroje s hrotem náplně propisky převzato z [6]

3.1 Size effect

Při klasickém obrábění je špičkou nástroje většinou ostrý hrot. Při mikro obrábění nástroj nikdy nedosahuje dokonalé špičky, a vždy je možné změřit poloměr ostří R , Obr. 12. Snižováním poloměru ostří k tloušťce třísky dochází k size effectu, který má vliv na celý proces mikrofrézování. Negativní úhel čela či elastická deformace obrobeného povrchu ovlivňuje sřížné síly, otřep, tvorbu třísky, vibraci a stabilitu nebo spotřebovanou energii v průběhu procesu. [12]



Obr. 12 Size effect upraveno z [12]

3.2 Ploughing effect

Jmenovitá tloušťka třísky je vždy větší než poloměr ostří nástroje, proto se hrot může považovat za ostrý a poloměr může být zanedbán. Zmenšování procesu vede k negativnímu úhlu čela, poloměr nástroje se blíží k jmenovité tloušťce třísky. Materiál již není odebírán stříhem, ale převážně kompresí nebo vtlačováním pod nástroj. Tento jev se označuje jako tzv. ploughing effect, neboli rycí efekt. [12]

3.3 SolidCAM

SolidCAM má více než 30 let zkušeností ve vývoji aplikací a CAM. Byl založen v roce 1984 Dr. Emilem Somekhem. Strategií programu byla integrace do mainstreamových CAD systémů. V roce 2003 byl integrován do programu SOLIDWORKS. SolidCAM podporuje 2.5 D obrábění, 3D / HSM obrábění, indexové a souběžné frézování ve 4 nebo 5 osách. V současné době vyvíjejí program iMachining, který se jeví revolučně oproti tradičnímu CNC obrábění. V porovnání s CNC obráběním má ušetřit až 70 % obráběcího času. [13]

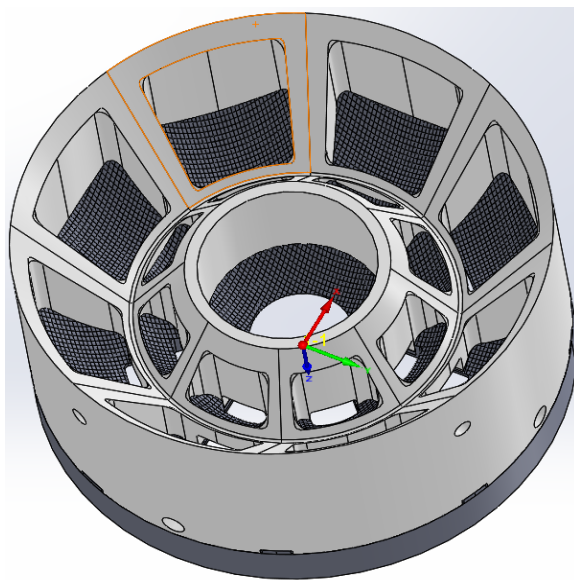
Příprava obrábění pomocí CAM podpory je nedílnou součástí při řešení mikrofrézovací technologií. V samotném CAM projektu, je potřeba upravovat parametry, které jsou předdefinovány pro klasické obrábění, avšak v „mikro“ měřítku jsou nevyhovující. Ať už to jsou velikosti pro nájezdy a odjezdy nástroje, bezpečné vzdálenosti, tolerance pro následné generování programu a podobně. [13]

Samotný proces obrábění můžeme rozdělit do 3 základních operací:

- Hrubování – úběr velkého množství materiálu, na výsledný tvar s potřebným přídavkem 0,1mm pro další operace
- Prefinish – tato skupina obsahuje:
 - Dokončení neoptických ploch na požadovaný rozměr dle výkresové dokumentace
 - Před dokončením optických ploch s přídavkem v jednotkách řádu setin mm.
- Finish – dokončení optických ploch, které byly předdokončeny (prefinish) s přídavkem 0,01-0,03mm pro mikrofrézování

Základní simulace procesu obrábění byly prováděny přímo v SolidCamu. Tyto simulace jsou z programovacího prostředí, tedy ještě před generováním strojového kódu pro řídicí systém stroje Heidenhain iTNC530, kterým je vybaveno 5-ti osé obráběcí centrum LITZ LU-800.

Pro lepší kontrolou, zda nemůže dojít k problému při obrábění, se provádějí další simulace v simulátorech strojového NC kódu. Tato simulace již čte vygenerovaný strojový kód pro řídicí systém stroje Heidenhain iTNC530. Simulace je přesnější, dokáže pokrýt i mezioperační pohyby, avšak je řadově časově náročnější a rovněž vyžaduje lepší hardwarové vybavení pracovní stanice. Naše pracoviště disponuje simulátorem strojového kódu Eureka 8.5, pro který byl vytvořen postprocesor s reálným 3D modelem našeho stroje LITZ LU-800. Simulator také kontroluje kolize mezi obrobkem-nástrojem-strojem-upínači.



Obr. 13 Návrh světloometu v CAD softwaru

3.4 Vysokootáčkové vřeteno

Mezi důležitý faktor mikrofrézování patří rychlost otáčení nástroje. Doporučená řezná rychlost pro AL slitiny je kolem 400 m/min, rychlost je standardně udávána v ot/min, proto je potřeba přepočítat doporučenou hodnotu otáček nástroje.

3.4.1 Výpočet rychlosti nástroje

Hlavní vřeteno 5-ti osého CNC frézovacího centra umožňuje maximálně 12.000 ot/min. Obecně pro dokončování AL slitin je ideálně potřeba řezných rychlostí kolem $v_c = 400$ m/min. Dosadíme-li do vzorce pro výpočet otáček:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot d} \quad [ot/min]$$

$$n \doteq 63\,694 \quad [ot/min]$$

za průměr frézy $d = 2$ mm, řeznou rychlost $v = 400$ m/min, dostáváme potřebné otáčky 63.694 ot/min, k čemuž se hlavní vřeteno stroje (12.000 ot/min) zdaleka nepřibližuje a je potřeba použít vysokorychlostní vřeteno. V našem případě jsme vybrali vřeteno Jäger S62-M280.07 S5. Za použití frézy s menším průměrem bude rychlost ještě výraznější.

Avšak při takto vysokých otáčkách, už má každá nesymetrie nástroje obrovský vliv na jeho vyvážení. Proto výrobce nástroje doporučuje otáčky, při kterých se mají nástroje provozovat. Pro kulové nástroje 0,5 mm (kat. č. M45785.050) a 0,3 mm (kat. č. M45785.030) jsou doporučené otáčky 60 tis. Tak jako každé zařízení, tak i pro vysokootáčkové vřeteno je vhodné, aby nebylo používáno nepřetržitě na svých maximálních otáčkách, proto bylo zvoleno vřeteno s max. otáčkami 80.000 ot/min. To poskytuje ještě dostatečnou rezervu pro optimalizaci řezných podmínek.

3.4.2 Vysoko otáčkové vřeteno Jäger S62-M280.07 S5

Vysokootáčkové vřeteno Jäger S62-M280.07 S5 splňuje parametry, které jsou potřebné k obrábění Al slitin. Požadavky:

- Maximální otáčky vřetene více než 60.000 ot/min
- Možnost použití kapalinové chlazení při procesu obrábění
- Možnost upnutí do hlavního vřetene stroje
- Elektrické napájení přídavného vřetene s možností řízení vřetene přímo z řídicího systému stroje Heidenhain iTNC530
- Výkon vřetene min 1,1kW i pro hrubovací operace
- Keramická ložiska pro dlouhou životnost

Základní parametry vysokootáčkového vřeteno Jäger S62-M280.07 S5 jsou uvedeny v Tab. č. 1.

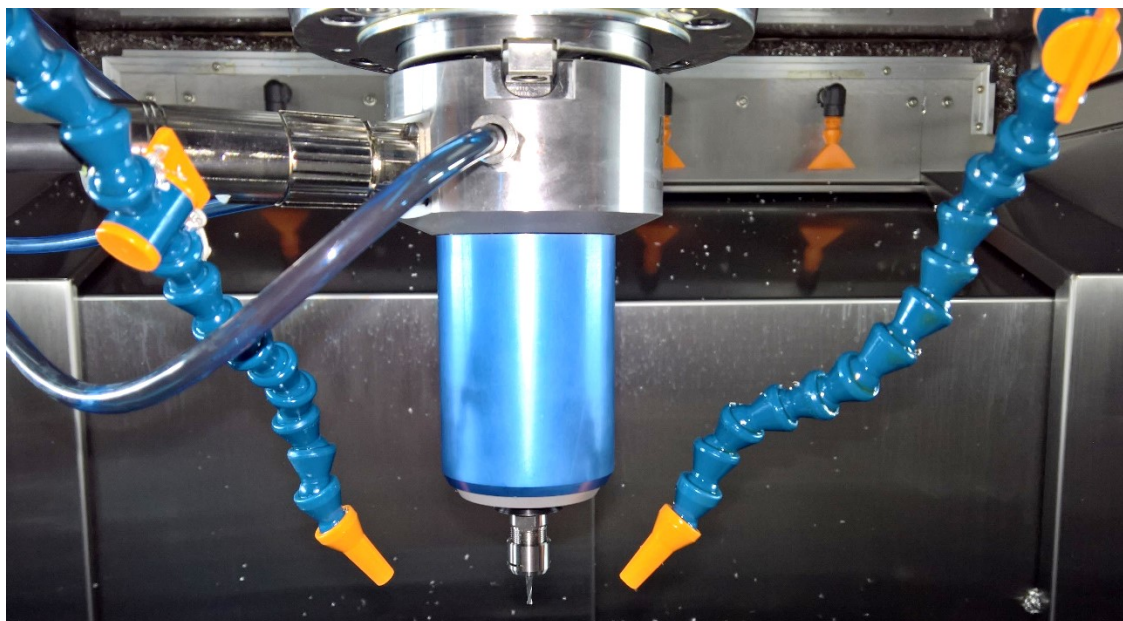
Tabulka č.1 Základní parametry vysokootáčkového vřeteno Jäger S62-M280.07 S5

Napájení vřetene	elektrické
Max. výkon vřetene	1,2 kW
Maximální otáčky vřetene	80.000 ot/min
Maximální napětí výstupní	81 V
Maximální proud vstupní	7 A
Vstupní napájení	230 V
Uložení vřetene	Hybridní keramická ložiska

3.4.3 Instalace vysokootáčkového vřetene Jäger S62-M280.07 S5 do stroje

Vysokootáčkové vřeteno Jäger S62-M280.07 S5 nemůže pracovat samostatně, a potřebuje další podsystémy svůj provoz, jako jsou kabeláž, chlazení, přívod stlačeného vzduchu a také frekvenční měnič s příslušenstvím, který je řízen z řídicího systému stroje.

Vřeteno se upíná do hlavního vřetene stroje, viz. Obr. 14. K vřetenu je přivedena kabeláž současně s hadičkami pro chlazení vřetene a přívod stlačeného vzduchu. Pokud jsou všechny podsystémy plně funkční, může být vřeteno trvale na kabeláži a stupovat do procesu obrábění dle potřeby. Vkládání vřetene Jäger do hlavního vřetene stroje je ruční, nelze jej tedy, z důvodu kabeláže umístit do zásobníku nástrojů ve stroji.



Obr. 14 Nainstalované vřeteno Jäger S62-M280.07 S5

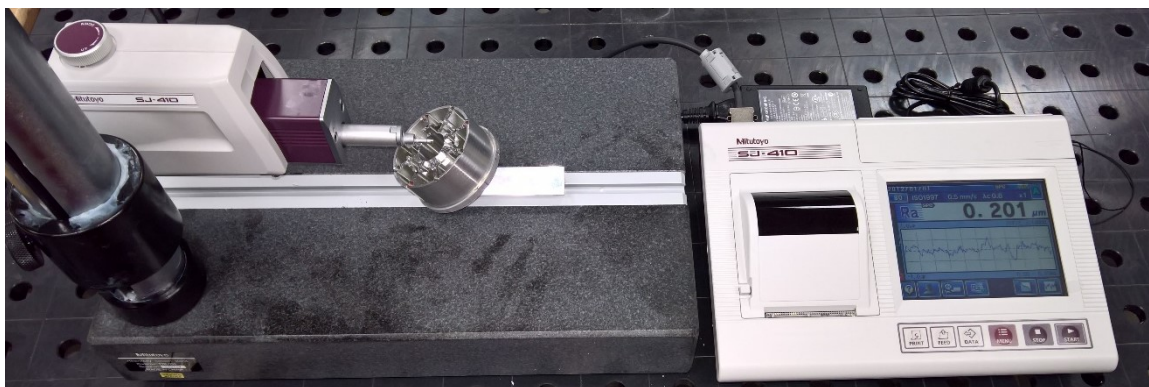
Pro kvalitní povrch při obrábění AL slitin je vyžadované kapalinové chlazení nástroje a oplach nástroje a obrobku. Toto byla z dalších podmínek, pro výběr vhodného vřetene. Aby nedošlo ke vniknutí technologické kapaliny do vřetene a tím k jeho poškození, je do něj přiveden vysušený filtrovaný tlakový vzduch z rozvodu 5-ti osého CNC frézovacího centra LITZ LU- 800. Vzduch pomáhá k ochlazování části vysokootáčkového vřetene a vytváří v něm přetlak, který zabraňuje vniknutí technologických kapalin do vřetene, které by jej mohly poškodit.

3.5 Měření drsnosti

Bez posouzení drsnosti povrchu nelze rychle a přesně kvalifikovat jakost obrobeného povrchu. Provedli jsme dvě měření povrchu. Prvně jsme změřili drsnost povrchu vnější a vnitřní části světlometu, který byl obráběn dvěma různými nástroji. V druhém měření jsme měřili drsnost povrchu šikmých odrazových ploch světlometu, které byly také obráběny dvěma různými nástroji, i jiným směrem obrábění. Měření drsnosti probíhalo na drsnoměru Mitutoyo Surftest SJ – 411.

3.5.1 Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ - 411

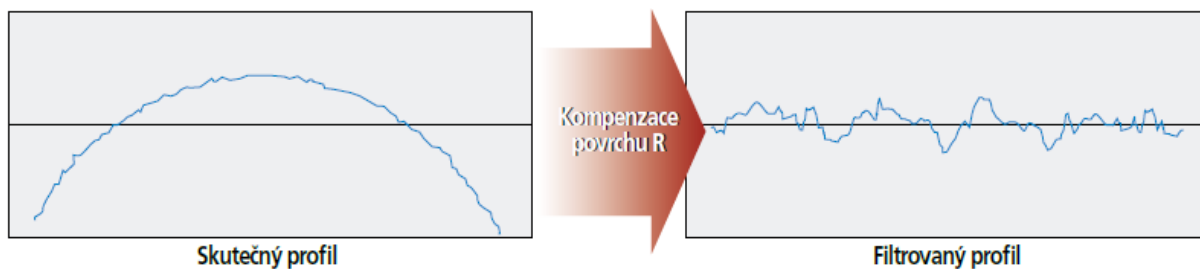
Pro měření drsnosti, a to nejen složitých optických ploch, jsme zvolili drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ – 41 viz. Obr. 15, a to zejména z důvodu přenosného zařízení, možnosti nastavení měřené dráhy drsnosti na velmi nízké hodnoty a kompenzaci tvaru profilu.



Obr. 15 Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ - 411

3.5.2 Měření a kompenzace profilu

Další důležitou vlastností je kompenzace tvaru měřeného profilu. Běžné přístroje dokáží měřit drsnost pouze na rovině, což není případ složitých ploch světlometu, nemohou tak vyhodnotit drsnost povrchu na zakřiveném povrchu. Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ – 411 dokáže kompenzovat tvar plochy, viz Obr. 16, a zobrazuje pak hodnoty drsnosti na zakřivené ploše, např. jako jsou rádiusy, paraboly, hyperboly, elipsy, kužely a další.



Obr. 16 Kompenzace zakřivení ploch převzato z [10]

3.6 Měření drsnosti vnější a vnitřní plochy světlometu

Měřili jsme drsnost povrchu vnější a vnitřní plochy světlometu na dvou vzorcích viz. Obr. 17. Jednotlivý vzorek byl měřen třikrát na jiném místě. Pravý světlomet byl frézován frézou C15557.450 s parametry obrábění: $a_p = 4,5$ mm $a_e = 2$ mm, $v_c = 225$ m/min, $f_z = 0,03$ mm/z. Světlomet vlevo dokončovací frézou BRW 222404.0190 s parametry: $a_p = 10$ mm $a_e = 2$ mm, $v_c = 340$ m/min, $f_z = 0,03$ mm/z. Vnitřní a vnější strana světlometu není optickou částí, proto na ní nejsou kladeny požadavky drsnosti plochy. Jedná se o pohledové díly součásti, a proto považujeme za důležité vzhled dané plochy. Měření drsnosti středu není nutné, provedli jsme zde zkoušku frézování odlišnými parametry.



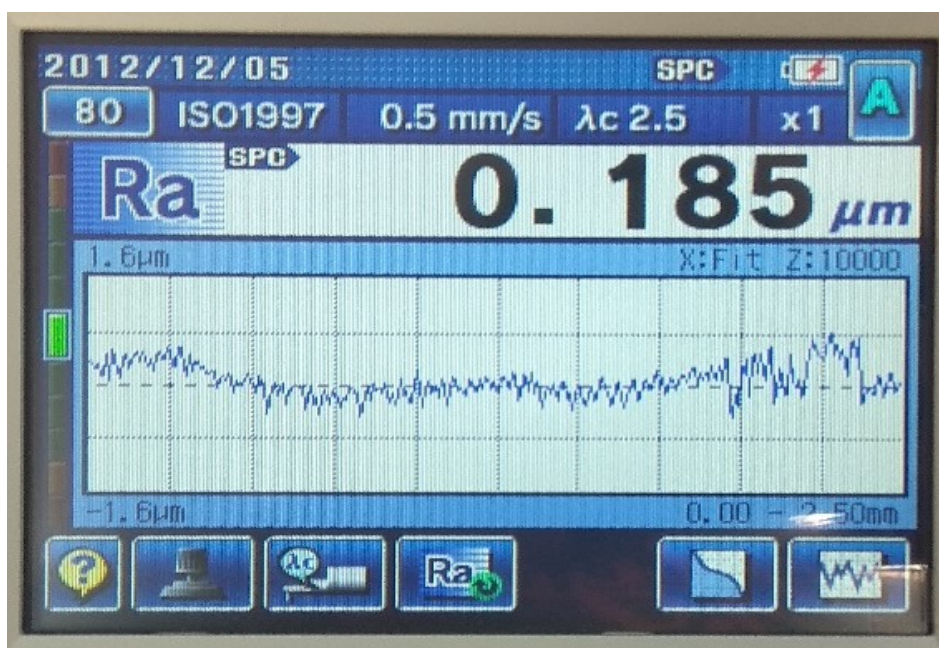
Obr. 17 Boční strany světlometu

Měření vnějších a vnitřních plošek probíhalo na délce 5 mm. Naměřili jsme tyto hodnoty:

Tabulka č.2: Drsnost povrchu vnější a vnitřní plochy světlometu

Drsnost povrchu [μm]			
Dokončovací fréza BRW 222404.0190		Fréza C15557.450	
Vnější	Vnitřní	Vnější	Vnitřní
0,172	0,323	0,185	0,171
0,218	0,219	0,197	0,208
0,207	0,250	0,163	0,198
$\bar{x} = 0,199$	$\bar{x} = 0,262$	$\bar{x} = 0,182$	$\bar{x} = 0,192$

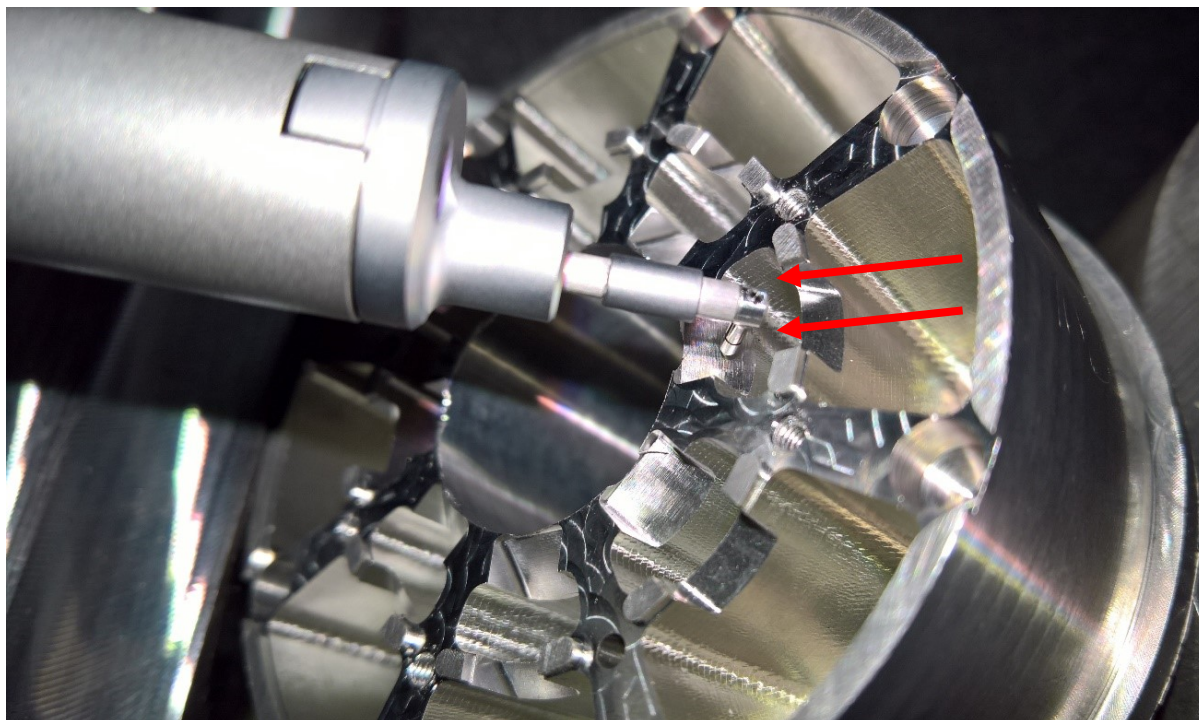
Předpokládali jsme nižší drsnost povrchu u světlometu bez drážek, ale naměřené hodnoty ukazují pravý opak. Jedná se o pohledovou část součástky a výsledná vyšší drsnost nás nijak neomezuje, i když se jedná pouze o detail, mohl by ovlivnit celkový úsudek o vozidle, obzvláště když je na vozidle osm kusů světlometů.



Obr. 18 Naměřená drsnost Ra 0,185

3.7 Měření drsnosti šikmých odrazových plošek

Měření na odrazových ploškách, probíhalo na délce 2 mm, viz Obr. 19. Tato část byla také frézována dvěma různými nástroji.



Obr. 19 Měření drsnosti šikmých plošek

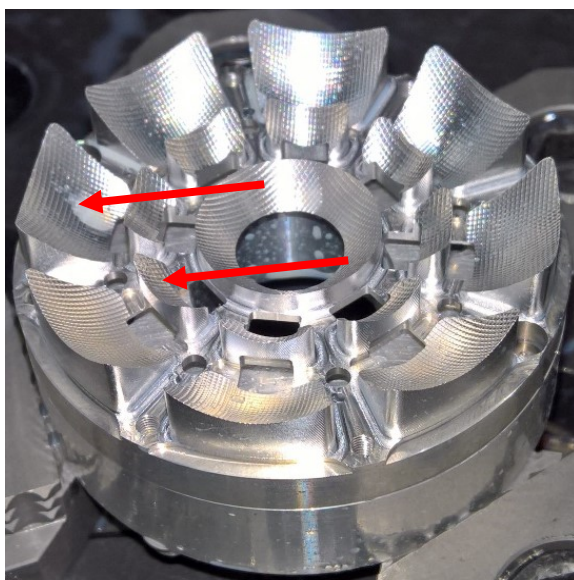
Tabulka č.3: Drsnost povrchu šikmých plošek

Drsnost povrchu [μm]			
Válcová fréza D3 C15557.180		Kulová fréza B6064.030	
Šikmé plošky ve směru	Šikmé plošky kolmo	Šikmé plošky ve směru	Šikmé plošky kolmo
0,444	0,187	0,255	0,492
0,440	0,286	0,274	0,406
0,418	0,207	0,184	0,344
$\bar{x} = 0,434$	$\bar{x} = 0,227$	$\bar{x} = 0,238$	$\bar{x} = 0,415$

Měření bylo časově náročnější z důvodu ustavení světlometu do správné pozice měření. Při porovnání šikmých plošek frézovaných ve směru došlo k odlišným výsledkům. Rozdíly drsnosti povrchu byly způsobeny rozdílným směrem frézování. Válcová fréza D3 C15557.180: $\bar{x} = 0,330 \mu\text{m}$, kulová fréza B6064.030: $\bar{x} = 0,326 \mu\text{m}$.

3.8 Měření drsnosti bříšek světlometu

Jakost obrobené plochy nejdříve hodnotíme dle výsledků naměřené drsnosti povrchu. Na světlometu se vyskytují bříška viz. Obr. 20, které mají zásadní vliv na rozptylu světla. Změřit drsnost povrchu na bříscích by bylo velmi náročné nebo zcela nemožné. Proto musíme využít jinou metodu vyhodnocení povrchu plochy.



Obr. 20 Bříška světlometu

Fotometrická měření jsou další skupinou měření jakosti světlometu. Zahrnuje, jak vliv samotného obrobení funkčních ploch, tak také správnost konstrukčního návrhu, ale také nastavení výkonu svítivých LED prvků řídicí elektronikou.

Při fotometrických měřeních se měří rozložení svítivosti (čar svítivosti), což lze popsat jako svítivost zdroje v jednotlivých směrech. K tomu se používá fotometrická lavice – goniofotometr – přesný víceosý polohovací stůl, který dovolí natáčení měřeného světlometu v různých úhlech, proti světelnému snímači.

4 VOLBA VHODNÝCH NÁSTROJŮ A PARAMETRŮ OBRÁBĚNÍ

Kvalitní frézování závisí především na kvalitě materiálu a geometrii daného nástroje. Nejvyšší nástroje kombinují vysokou tvrdost materiálu s adekvátní houževnatostí a chemickou stálostí při vysokých teplotách. Požadavky udávají ideální vlastnosti materiálu pro výrobu nástrojů, ale žádný z používaných materiálů nemá ve všech zmíněných ohledech vynikající vlastnosti. Mezi nejpoužívanější materiály patří vysokorychlostní ocel, karbidy, diamant a keramika, přičemž vlastnostmi vyniká diamant, který má perfektní mechanické, fyzikální i chemické vlastnosti. Vysoká tvrdost umožňuje výrobu ostřejšího nástroje, ale také i delší životnost. Pro komerční využití se využívá karbid wolframu s jemnozrnnou strukturou, především z ekonomického hlediska v porovnání s diamantovými nástroji. Nedosahuje kvalit jako diamant, ale kombinace ceny a vlastností staví karbid wolframu do popředí.

Nástroje pro frézování světlometů byly voleny s ohledem na výsledný tvar dílu. Pro správnou funkci mikrofréz je nutno dodržovat několik doporučení:

- nastavit dostatečné otáčky;
- kontrolovat házivost nástroje při výměně;
- intenzivně vyfukovat šponky z prostoru obrábění;
- při výměně opotřeбенé mikrofrézy vrátit program a část tvaru "sjet" znova;
- dodržovat doporučené řezné podmínky výrobce;
- neužívat zbytečně dlouhý nástroj.

Produktivita mikrofrézování je přímo úměrná rychlosti otáček nástroje. Pro představu: pro frézu s průměrem 1,0 mm a délkou 20 mm pro obrábění oceli s tvrdostí 48–52 HRC doporučuje firma Fraisa 31 000 ot.min⁻¹. U menších průměrů se doporučené otáčky blíží hodnotám 50 000 až 60 000 min⁻¹. viz 3.4.1. [14]

4.1 Nástroje pro frézování bříška

Frézování bříšek světlometu bylo nejnáročnější operací. Nejvíce se zde projevil rozdíl mezi frézovacím časem v simulaci SOLIDCAMu a samotného frézovacího centra, kdy SOLIDCAM nepočítal přejezdy, roztočení a zastavení vřetene, ale hlavně konstanty pro zrychlení a posuvy v jednotlivých osách. Celková obráběcí plocha lze charakterizovat jednotlivými segmenty, 8x vnitřní, 8x vnější a střed, Obr. 20.

Celkový čas vypočteme sečtením všech segmentů. Simulované časy pro jednotlivé díly: vnitřní= 7 minut a 35 sekund, vnější= 10 minut a 14 sekund, střed 38 minut a 6 sekund. Konečný čas simulovaného frézování bříšek lehce překročil tříhodinovou hranici, přesně 3 hodiny a 36 sekund.

Kulová fréza D0,5mm M45785.050 byla použita pro pre finish, fréza s povlakem.



Obr. 21 Kulová fréza D0,5mm M45785.050 převzato z [15]

Kulová fréza D0,3mm 5785.030 byla použita pro finish, fréza bez povlaku.



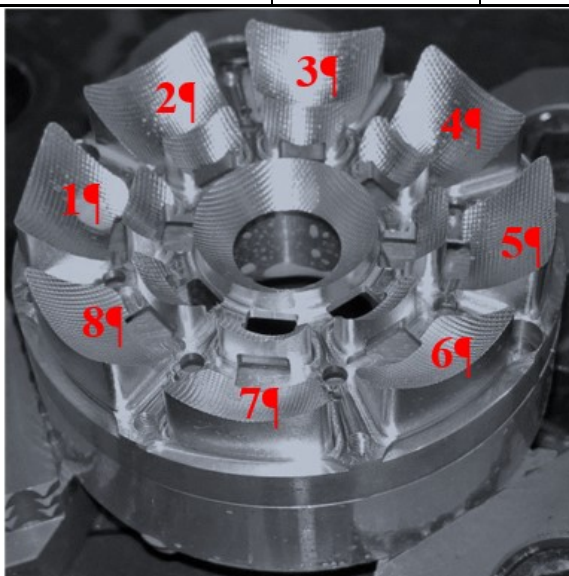
Obr. 22 Kulová fréza D0,3mm 5785.030 převzato z [15]

Čas dokončení spočítat podobně jako u předchozí frézy, tj. sečtením všech obráběných segmentů. Výsledek= 8 hodin 18 minut a 39 sekund.

Pro finish byly vybrány tři vhodné nástroje, s různými parametry obrábění uvedené níže v tabulce. Byly frézovány dva vzorky, každé vnější a vnitřní bříško, Obr. 23, s odlišným parametrem obrábění.

Tabulka č.4: Vybrané nástroje a parametry obrábění

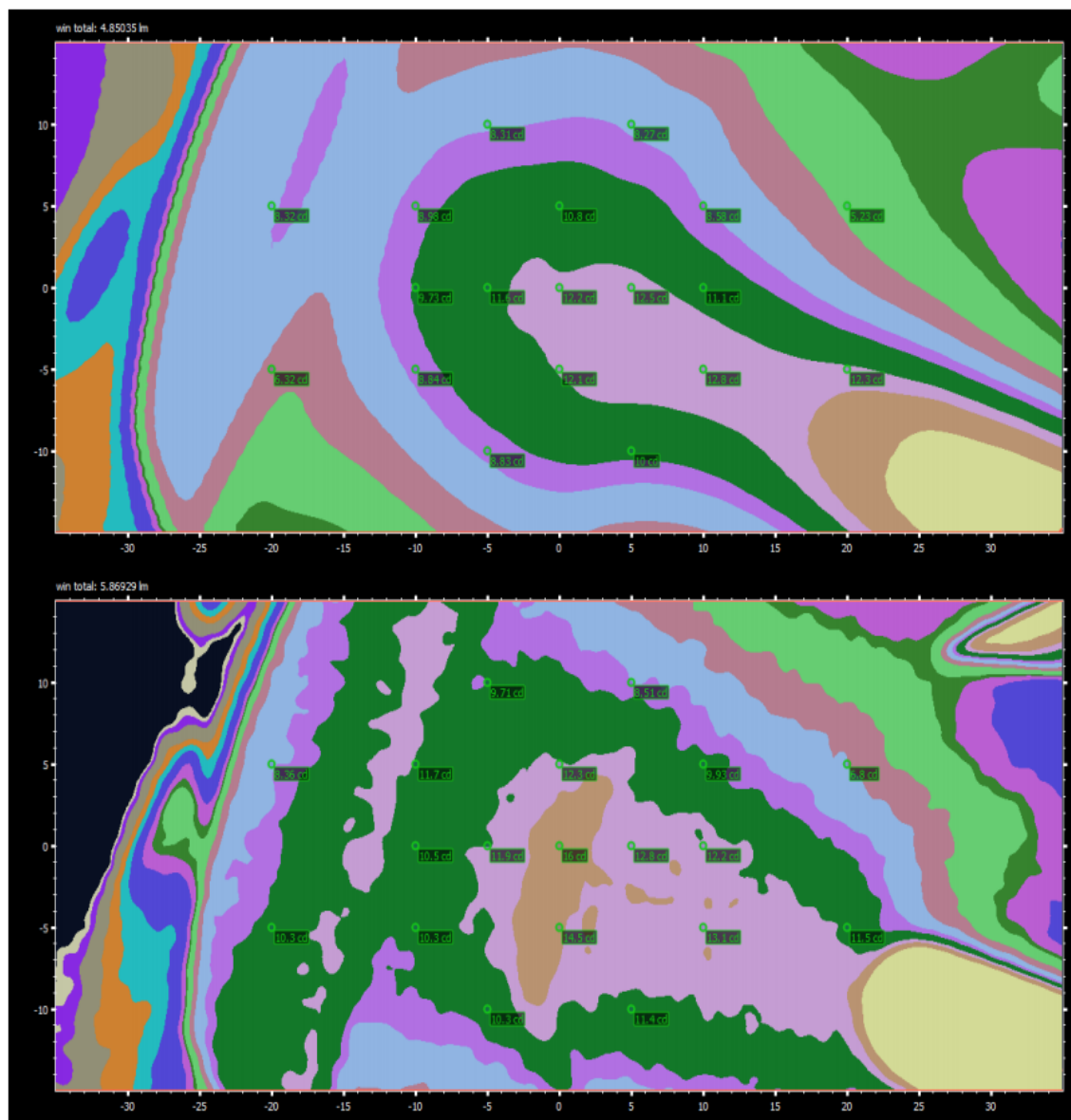
Číslo plošky	Typ frézy	S [ot/min]	ap po prefinish 0,5 [mm]	ae [mm]
1	M45785.030	79000	0,01	0,0085
2	M45785.030	79000	0,01	0,015
3	M45785.030	79000	0,01	0,02
4	M45785.030	79000	0,01	0,006
5	M45785.030	79000	0,01	0,0085
6	M45785.030	79000	0,01	0,0085
7	M45785.030	79000	0,01	0,006
8	M45785.030	60000	0,01	0,0085
1	B6064.030	45000	0,01	0,006
2	B6064.030	45000	0,01	0,015
3	B6064.030	45000	0,01	0,02
4	B6064.030	45000	0,01	0,006
5	5785.030	79000	0,01	0,0085
6	5785.030	79000	0,01	0,015
7	5785.030	79000	0,01	0,006
8	5785.030	70000	0,01	0,0085



Obr. 23 Vzorek pro měření

4.1.1 Fotometrické měření

Součástí projektu byla spolupráce s firmou Varroc Lighting Systems, s.r.o., která testovala světlomet fotometrickým měřením. Na obrázku lze vidět mapu svítivosti, mapa je softwarově nasimulována, změřeny jsou pouze vyznačené body. Horní graf znázorňuje vnitřní část bříška, spodní bříško vnější.



Obr. 24 Výpočet simulace svítivosti světlometu se změřenými hodnotami v jednotlivých bodech

Fréza M45785.030 byla odhadnuta za nevyhovující, proto ani nebyla následně měřena. Ve výsledném měření B1-B4 (fréza bez povlaku 5785.030) nahrazuje vzorek 5-8 a D1-D4 (fréza s diamantovým povlakem B6064.030) vzorek 1-4 z Tabulky č.4. Výsledky jsou měřeny po pokovení světlometu, před pokovením byly o 10 % nižší. Segment B1 nebyl měřen z důvodu nefunkčního LED panelu.

Segment	Měření HV [cd]	Měření Tok [lm]	Predikce HV [cd]	Predikce Tok [lm]	Měření vs predikce HV	Měření vs predikce Tok
B1*						
B2	12.2	4.850	16	5.869	76.25 %	82.64 %
B3	12.6	3.973	15.9	4.630	79.25 %	85.80 %
B4	11.5	3.846	16.1	4.337	71.43 %	88.68 %
D1	11.1	4.740	16	5.919	69.38 %	80.08 %
D2	11.9	4.837	16.1	5.892	73.91 %	82.09 %
D3	11.7	3.453	15.9	4.577	73.58 %	75.44 %
D4	12.3	3.491	15.7	4.293	78.34 %	81.32 %

Obr. 25 Výsledek svítivosti různých parametrů frézování



Obr. 26 Sestavený prototyp světlometu

Při návrhu světlometu se předpokládalo, že světlomet bude splňovat předpisy pro homologaci na pozemních komunikacích. Dle fotometrických měření se prokázalo, že hodnoty měření jsou dle simulací v souladu s předpisy a je možno tyto světlometry použít ve sportovním automobilu, pro který byly sdružené světlometry navrženy. Na obrázku můžeme vidět finální vzhled sestaveného prototypového světla.

4.1.2 Parametry

Dle výsledků fotometrického měření hodnot byly zvoleny tyto parametry obrábění.

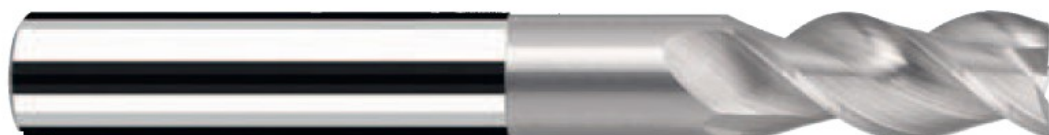
Tabulka č.5: Parametry pro obrábění bříšek

	Kulová fréza D0,5mm M45785.050	Kulová fréza D0,3mm 5785.030
ap [mm]	0,015	0,005
ae [mm]	0,005	0,01
vc [m/min]	94,24	74,45
S [ot./min]	60 000	79000
fz [mm/z]	0,005	0,01

4.2 Nástroje pro frézování šikmých odrazových ploch

Pro frézování odrazových plošek byly zvoleny dva různé nástroje, nikoli za účelem před dokončovacím a dokončovacím, ale pro porovnání odlišných fréz.

Válcová Fréza na Al slitiny C15557.180 D3



Obr. 27 Válcová Fréza na Al slitiny C15557.180 D3 převzato z [15]

Celkový čas dokončení = 18 minut a 56 sekund. $A_p = 0,15$ mm, $a_e = 0,9$ mm, $v_c = 113$ m/min, $f_z = 0,005$ mm/z.

Kulová fréza D0,5mm M45785.050



Obr. 28 Kulová fréza D0,5mm M45785.050 převzato z [15]

Celkový čas dokončení = 1 hodina 9 minut a 20 sekund. $A_p = 0,015$ mm, $a_e = 0,005$ mm, $v_c = 94,24$ m/min, $f_z = 0,005$ mm/z.

4.2.1 Parametry

Tabulka č.6: Parametry pro frézování odrazových ploch

	Válcová Fréza na Al slitiny C15557.180 D3	Kulová fréza D0,5mm M45785.050
a_p [mm]	0,15	0,015
a_e [mm]	0,9	0,005
v_c [m/min]	113	94,24
S [ot./min]	12000	60000
f_z [mm/z]	0,005	0,005

4.3 Nástroje pro frézování boků

Pro frézování boků světlometu byly taktéž použity dvě frézy. Zde jsme chtěli porovnat délky frézování pohledového dílu.

Dokončovací fréza BRW 222404.0190



Obr. 29 Dokončovací fréza BRW 222404.0190 převzato z [16]

Celkový čas dokončení = 1 minuta a 46 sekund, čas dokončení středu 25 sekund a obvodu 1 minutu a 21 sekund. $A_p = 10$ mm, $a_e = 2$ mm, $v_c = 340$ m/min, $f_z = 0,01$ mm/z.

Fréza na Al slitiny C15557.450



Obr. 30 Fréza na Al slitiny C15557.450 převzato z [15]

Celkový čas dokončení = 4 minuty a 54 sekund, 4 minuty:10 sekund na vnější obvod a 44 sekund na vnitřní obvod. $A_p = 4,5$ mm, $a_e = 2$ mm, $v_c = 225$ m/min, $f_z = 0,03$ mm/z.

4.3.1 Parametry

Měření probíhalo na vzorcích s následnými parametry obrábění.

Tabulka 7: Parametry pro frézování boků

	Dokončovací fréza BRW 222404.0190	Fréza na Al slitiny C15557.450
ap [mm]	10	4,5
ae [mm]	2	2
vc [m/min]	340	225
S [ot./min]	11000	7000
fz [mm/z]	0,01	0,03

ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR

Je zřejmé, že mikrofrézování nenahradí nekonvenční metody obrábění, převážné při frézování složitých či členitých dílů, neboť výroba touto metodou je velmi nákladná. Přesto si tato technologie své místo na trhu obrábění nachází, jelikož poptávka po mikrokomponentech roste. Produktivně lze tuto metodu obrábění uplatnit pouze za předpokladu správně zvoleného CAM systému, stroje a nástroje.

Pro vývoj světlometu sportovního vozidla byly navrženy nástroje a řezné podmínky. Dle fotometrického měření dosáhla kulová fréza D0,3mm 5785.030 s parametry obrábění, $a_p = 0,005$ mm, $a_e = 0,01$ mm, $v_c = 74,45$ m/min, $S = 79000$ ot./min, $f_z = 0,01$ mm/z, nejlepších hodnot pro bříška světlometu. Světlomet dosáhl svítivosti 88 % predikovaného výsledku, což bude kompenzováno zvýšeným výkonem LED prvků světlometu. Pro frézování bylo zvoleno vysokootáčkové vřeteno Jäger S62-M280.07 S5 za předpokladu, že pojede na 80 % maximálního výkonu, dle naměřených parametrů byla zvolena rychlost nástroje 79 000 ot/min, která se velmi blíží maximální rychlosti vřetene, a může se využít jen v krátkodobém časovém intervalu. Není vhodné provozovat vřeteno na maximálních otáčkách dlouhodobě, obzvláště několik hodin.

Na šikmých odrazových plochách jsme měřili drsnost. Nejprve jsme naměřili hodnoty, které se dvojnásobně lišily, rozdíl byl způsobem jiným směrem obrábění plošek. Dosažená drsnost povrchu obou směrů byla obdobná, válcová fréza D3 C15557.180: $\bar{x} = 0,330$ μ m, kulová fréza B6064.030: $\bar{x} = 0,326$ μ m. Vzhledem k měření na krátké vzdálenosti bych doporučil zvýšit počet měření.

Byla navržena válcová dokončovací fréza BRW 222404.0190, která dosahovala přibližně stejných hodnot jako fréza C15557.450, bylo by vhodné provést více měření pro následné porovnání hodnot. Dokončovací fréza BRW 222404.0190 potřebuje méně času k obrobení boků, přibližně 1/3 času frézy C15557.450. Upřednostnil bych frézu BRW 222404.0190 z důvodu pohledově „hladšího“ povrchu a kratšímu času obrobení.

Na finish bříška světlometu byly testovány tři nástroje s různým povlakováním a parametry obrábění od firmy Fraisa, avšak je určitě vhodné pokračovat v testování i s nástroji jiných výrobců.

SEZNAM ZKRATEK

ap	hloubka záběru třísky
ae	pracovní záběr
fz	posuv na zub
HSM	<i>high speed machinig</i> , vysoko rychlostní obrábění
S	otáčky nástroje
tzv.	takzvaný, takzvaně
vc	řezná rychlost

SEZNAM ZDROJŮ A POUŽITÉ LITERATURY

- [1] kvalifikace.sosasource.cz. *Geometrie obráběcího nástroje*. [Online] [Citace: 21. Prosinec 2017.] <http://kvalifikace.sosasource.cz/2-1-1-geometrie-obrabeciho-nastroje/>.
- [2] Kunstfeld, Ing. Jaroslav. *Porovnání životnosti fréz upnutých v termoupínacích oproti jiným způsobům upínání nástrojů*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3853-3.
- [3] Kocman, Karel. *Technologické procesy obrábění*. Brno : Akademické vydavatelství CERM, s.r.o. Brno, 2011. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [4] slideplayer.cz. *Základy frézování*. [Online] [Citace: 25. Listopad 2017.] <http://slideplayer.cz/slide/2597287/>.
- [5] <https://www.sandvik.coromant.com/>. [Online] 10. Leden 2018. https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/application_overview/face_milling/general_face_milling/pages/default.aspx.
- [6] Docplayer. *Základní charakteristika frézování*. [Online] [Citace: 13. Leden 2018.] <http://docplayer.cz/45994764-Zakladni-charakteristika-frezovani-frezovani-triskove-obrabeni-rovinnych-i-vnitrnich-a-vnejsich-tvarovych-ploch-stroje-frezky-nastroje-frezy.html>.
- [7] Sandvik Coromant. *Milling*. [Online] [Citace: 6. Únor 2018.] https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/down-milling.aspx.
- [8] NexGenCAM. *Fundamentals of CNC Machining*. Chicago : NexGen Manufacturing Systems, 2014. ISBN: 978-0-615-50059-1.
- [9] Miloslav, Štulpa. *CNC - Programování obráběcích strojů*. Praha : Grada publishing, a.s., 2014. ISBN: 978-80-247-5269-3 .
- [10] www.konstrukter.cz. *Jak funguje mikrofřezování*. [Online] [Citace: 15. Listopad 2017.] <https://www.konstrukter.cz/2011/03/28/jak-funguje-mikrofrezovani-od-cimatronu/>.
- [11] Jan Leinveber, Jaroslav Řasa, Pavel Vávra. *Strojnické tabulky*. Praha : Scientia, spol. s.r.o., 1999. ISBN: 80-7183-164-6.

- [12] *Investigation of Cutting Edge Radius*. Juri Saedon, Noor Aniza Norrdin. Singapore : Springer Science+Business Media, 2016.
- [13] Solidcam. [Online] [Citace: 20. Leden 2018.] <http://www.solidcamuk.com>.
- [14] MM. *Mikrofrézování oceli - zdroj úspor*. [Online] [Citace: 5. Únor 2018.] <https://www.mmspektrum.com/clanek/mikrofrezovani-oceli-zdroj-uspor.html>.
- [15] Fraisa. *Edd milling tools*. [Katalog] 2016.
- [16] BRW. <https://www.brw.ch/>. [Online] [Citace: 27. Únor 2018.] https://www.brw.ch/3/BRW-ToolShop/1/Category/363/Product/Details/P_1100615/Solid-Carbide-square-end-mill-FUTURO.

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Geometrie nástroje upraveno z [1]</i>	13
<i>Obr. 2 Zařízení pro tepelné upínání</i>	14
<i>Obr. 3 Detail mikrofrézy</i>	15
<i>Obr. 4 Válcové frézování převzato z [4]</i>	16
<i>Obr. 5 Čelní frézování převzato z [6]</i>	16
<i>Obr. 6 Okružní frézování převzato z [4]</i>	17
<i>Obr. 7 Planetové frézování převzato z [4]</i>	17
<i>Obr. 8 Nesousledné (a) a sousledné (b) frézování převzato z [4]</i>	18
<i>Obr. 9 Drsnost povrchu výrobních metod převzato z [11]</i>	20
<i>Obr. 10 Drsnost povrchu převzato z [11]</i>	22
<i>Obr. 11 Porovnání velikosti nástroje s hrotem náplně propisky převzato z [6]</i>	23
<i>Obr. 12 Size effect upraveno z [12]</i>	24
<i>Obr. 13 Návrh světlometu v CAD softwaru</i>	25
<i>Obr. 14 Nainstalované vřeteno Jäger S62-M280.07 S5</i>	28
<i>Obr. 15 Drsnoměr Mitutoyo Surftest SJ - 411</i>	29
<i>Obr. 16 Kompenzace zakřivení ploch převzato z [10]</i>	30
<i>Obr. 17 Boční strany světlometu</i>	30
<i>Obr. 18 Naměřená drsnost Ra 0,185</i>	31
<i>Obr. 19 Měření drsnosti šikmých plošek</i>	32
<i>Obr. 20 Bříška světlometu</i>	33
<i>Obr. 21 Kulová fréza D0,5mm M45785.050 převzato z [15]</i>	35
<i>Obr. 22 Kulová fréza D0,3mm 5785.030 převzato z [15]</i>	35
<i>Obr. 24 Vzorek pro měření</i>	36
<i>Obr. 24 Výpočet simulace svítivosti světlometu se změřenými hodnotami v bodech</i>	37
<i>Obr. 25 Výsledek svítivosti různých parametrů frézování</i>	38
<i>Obr. 26 Sestavený prototyp světlometu</i>	38
<i>Obr. 27 Válcová Fréza na Al slitiny C15557.180 D3 převzato z [15]</i>	40
<i>Obr. 28 Kulová fréza D0,5mm M45785.050 převzato z [15]</i>	40
<i>Obr. 29 Dokončovací fréza BRW 222404.0190 převzato z [16]</i>	41
<i>Obr. 30 Fréza na Al slitiny C15557.450 převzato z [15]</i>	41